

Autonomiczny transport przyszłości – ocena ryzyka zagrożeń latających taksówek

Klaudia Budna 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: klaudia.budna@pb.edu.pl

Weronika Rogowska

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: 85541@student.pb.edu.pl

Danuta Szpilko 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: d.szpilko@pb.edu.pl

DOI: [10.24427/az-2025-0012](https://doi.org/10.24427/az-2025-0012)

Streszczenie

Rozwój technologii autonomicznych w transporcie miejskim stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnej mobilności. W obliczu rosnącego zaludnienia miast oraz problemów związanych z zatłoczeniem ulic i zanieczyszczeniem powietrza, innowacyjne rozwiązania transportowe stają się niezbędnym elementem przyszłości urbanistyki. Jednym z takich rozwiązań są autonomiczne latające taksówki, które mogą zrewolucjonizować przemieszczanie się w obszarach miejskich. Celem niniejszego artykułu jest dokonanie identyfikacji przyszłościowych rozwiązań autonomicznych oraz dokonanie oceny ryzyka jednego z nich – latających taksówek. Charakterystyka rozwiązań została przygotowana na podstawie przeglądu literatury i stron internetowych. Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem metody Risk Score, która pozwala na jakościową ocenę ryzyka oraz identyfikację kluczowych obszarów wymagających dalszych działań. Uzyskane wyniki mogą stanowić cenną wskazówkę dla przedsiębiorstw, pomagając określić obszary wymagające udoskonalenia i optymalizacji w technologii latających taksówek.

Słowa kluczowe

autonomiczne pojazdy, latające taksówki, ryzyko

Wstęp

W XXI wieku rozwój technologii i rosnące potrzeby mobilności prowadzą do dynamicznych zmian w sposobie przemieszczania się ludzi i towarów, stawiając przed społeczeństwem wyzwania związane z automatyzacją transportu, poprawą efektywności komunikacji oraz ograniczeniem negatywnego wpływu na środowisko [Ejdys, 2024]. Coraz większa urbanizacja, wzrastające natężenie ruchu drogowego oraz dążenie do ograniczenia emisji spalin skłaniają do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań, które usprawnią komunikację i poprawią jakość życia w miastach [Szpilko i in., 2023]. W obliczu tych wyzwań kluczową rolę odgrywają innowacje w zakresie automatyzacji transportu.

Nowoczesne rozwiązania transportowe muszą nie tylko sprostać rosnącym wymaganiom użytkowników, ale również uwzględniać kwestie bezpieczeństwa, integracji z istniejącą infrastrukturą oraz regulacji prawnych. Postęp technologiczny sprawia, że rozwiązania, które jeszcze niedawno wydawały się niemożliwe do wdrożenia, dziś stopniowo wkraczają w fazę testów i wdrożeń. Konieczne jest jednak opracowanie odpowiednich norm i regulacji, aby zapewnić ludziom bezpieczeństwo, co pozwoli zwiększyć ich społeczną akceptację. W tym kontekście niezbędne staje się prowadzenie badań nad potencjalnym ryzykiem, jakie mogą generować nowe formy transportu, a także poszukiwanie skutecznych strategii minimalizacji zagrożeń.

Celem artykułu jest identyfikacja nowoczesnych autonomicznych rozwiązań transportowych w obszarze miejskim oraz dokonanie oceny ryzyka latających taksówek. W artykule opisano rozwiązania oparte na automatyzacji jazdy oraz przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań metodą Risk Score.

1. Przegląd literatury

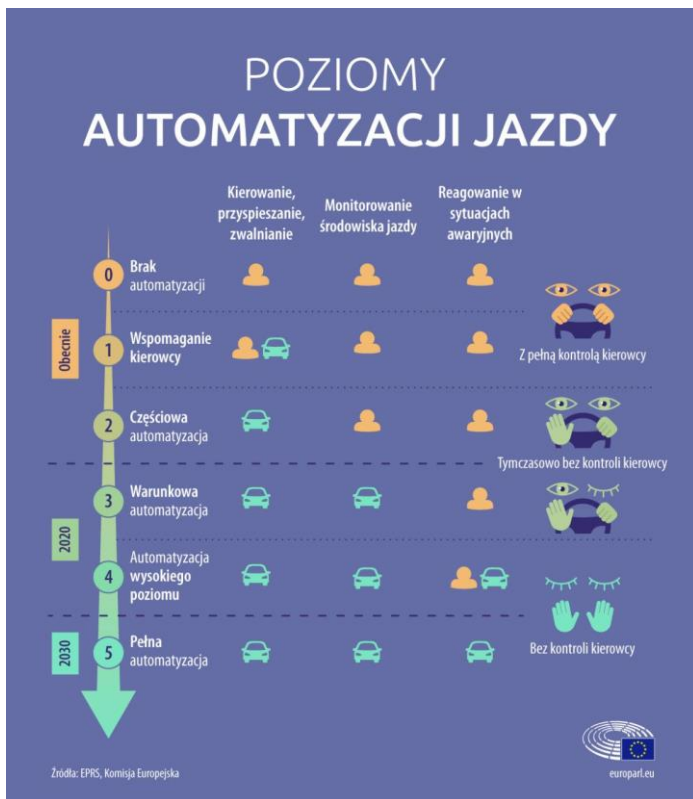
Współcześnie istotnym obszarem rozwoju jest logistyka miejska, która ma na celu usprawnić płynność i ułatwić komunikowanie się mieszkańców miast [Szpilko i in., 2023]. Obecnie ponad połowa populacji czyli 4,4 miliarda ludzi żyje w miastach [<https://worldbank.org>, 19.03.2025]. W związku z dynamicznym wzrostem urbanizacji oraz rosnącymi problemami takimi jak korki, zanieczyszczenie powietrza [Szpilko i in., 2024] czy ograniczona przestrzeń dla tradycyjnych środków transportu, konieczne jest poszukiwanie nowych, innowacyjnych rozwiązań w transporcie miejskim [Panasewicz, Alonso, 2023].

W obszarze logistyki miejskiej możemy wyróżnić wiele nowoczesnych rozwiązań w ramach elektromobilności (m.in. pojazdy elektryczne, hybrydowe, wodorowe), transportu zbiorowego (m.in. usługi sharingu, pojazdy autonomiczne, platformy cyfrowe do planowania podróży) oraz społeczeństwa o niskiej mobilności (m.in. kampanie informacyjne i promocyjne, strefy niskiej lub zerowej emisji, ograniczenia prędkości do 30km/h) [Gulc, Budna, 2024]. Zastosowanie pojazdów autonomicznych może odegrać kluczową rolę w przyszłości mobilności miejskiej, usprawniając transport publiczny oraz prywatny.

Autonomiczne pojazdy są to pojazdy, które są zdolne do samodzielnej nawigacji, zarówno naziemne, jak i powietrzne [Zade i in., 2024]. Samochody autonomiczne są wyposażone w szereg czujników, kamer, komputerów pokładowych, systemów GPS, odbiorników i radarów w celu zapewnienia największego bezpieczeństwa pasażerów. Według danych Komisji Europejskiej, aż 95% wszystkich wypadków drogowych jest wynikiem ludzkiego błędu [<https://eur-lex.europa.eu>, 21.03.2025]. Pojazdy autonomiczne mogą przyczynić się do większego bezpieczeństwa na drogach, jednakże niezbędne jest stworzenie odpowiednich przepisów prawnych oraz wymogów bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Autonomiczne samochody już dziś są testowane przez największe firmy technologiczne i motoryzacyjne, takie jak Tesla [<https://tvn24.pl>, 21.03.2025], Waymo [<https://waymo.com/>, 21.03.2025], Mercedes-Benz, Audi, Volvo [<https://cuk.pl>, 21.03.2025]. Obecnie pojazdy autonomiczne są najbardziej popularne w Chinach, Stanach Zjednoczonych oraz Zjednoczonych Emiratach Arabskich [<https://tvn24.pl>, 21.03.2025]. W Polsce specjaliści z Instytutu Transportu Samochodowego prognozują, iż pojazdy autonomiczne będą mogły się poruszać już w 2030 roku [<https://www.polskieradio.pl>, 21.03.2025].

Wyróżnić można 5 poziomów autonomizacji jazdy w autonomicznych pojazdach (rysunek 1).



Rys. 1. Poziomy autonomizacji jazdy

Źródło: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20190110STO23102/samochody-autonomiczne-w-ue-od-fantastyki-naukowej-do-rzeczywistosci> [21.03.2025].

Poziom 0 oznacza całkowity brak automatyzacji. Kierowca samodzielnie steruje pojazdem, przyspiesza i hamuje oraz monitoruje otoczenie i reaguje w sytuacjach awaryjnych. Poziom 1 oznacza częściowe wspomaganie kierowcy poprzez sterowanie lub przyspieszanie bądź zwalnianie. Poziom 2 oznacza częściową automatyzację. System może przejąć kontrolę nad kierowaniem i przyspieszaniem/zwalnianiem, ale kierowca musi nadal monitorować drogę i być gotowym do przejęcia kontroli. Poziom 3 oznacza warunkową automatyzację. Pojazd może prowadzić się sam w określonych warunkach (np. na autostradzie), ale kierowca musi być gotowy do przejęcia kontroli. Poziom 4 oznacza automatyzację wysokiego poziomu czyli pojazd może prowadzić się samodzielnie w wielu sytuacjach bez ingerencji kierowcy, który nie musi monitorować drogi, ale obecność człowieka może być wymagana

w niektórych przypadkach. Najwyższy poziom 5 oznacza pełną automatyzację, czyli pojazd jest w pełni autonomiczny i nie wymaga kierowcy ani jego kontroli w żadnej sytuacji [<https://www.europarl.europa.eu>, 21.03.2025].

Zastosowanie autonomicznych pojazdów wiąże się jednak z wieloma barierami. Autorzy [Mutzenich i in., 2024] zwracają uwagę na bariery społeczne jak niskie zaufanie i akceptację wśród różnych grup pokoleniowych, a także silną preferencję posiadania prywatnych samochodów. Inni autorzy również wskazują bariery jak zapewnienie bezpieczeństwa [Khayatian i in., 2024] oraz gwarancję bezkolizyjności [Gunter, Work, 2022]. W literaturze można również wyróżnić bariery technologiczne brak infrastruktury [Jalwani, Choudhury, 2023] oraz bariery ekonomiczne jak ograniczenia finansowania produkcji [Jalwani, Choudhury, 2023] czy koszty związane z zakupem [Gunter, Work, 2022] oraz brakiem dofinansowań do zakupu [Jalwani, Choudhury, 2023].

Jednym z kluczowych aspektów autonomicznego transportu przyszłości jest integracja zaawansowanych systemów sztucznej inteligencji [Garikapati, Shetiya, 2024], komunikacji V2X (Vehicle-to-Everything) [Špitálová, 2023] oraz technologii czujników, które umożliwiają pojazdom podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym. Do autonomicznym pojazdom przyszłości można zaliczyć: samochody osobowe, latające taksówki, autobusy i tramwaje, drony oraz pociągi i metro.

2. Wybrane rozwiązania autonomicznego transportu przyszłości

Autonomiczne taksówki Waymo funkcjonują w San Francisco jako nowoczesna forma transportu miejskiego. Pojazdy te, będące elektrycznymi SUV-ami marki Jaguar, wyposażone są w zaawansowane systemy lidarowe umożliwiające autonomiczną jazdę. Zamówienie przejazdu odbywa się za pomocą aplikacji mobilnej, a pojazd samodzielnie podejżdza do wskazanego miejsca (rysunek 2).



Rys. 2. Autonomiczna taksówka Waymo

Źródło: na podstawie <https://fleetlog.pl> [17.02.2025].

Wnętrze zaprojektowano z myślą o komforcie i bezpieczeństwie pasażerów, oferując m.in. ekran wyświetlający trasę przejazdu [<https://www.monitorlocal-news.com>, 17.02.2025]. System Waymo stale się rozwija i uczy na podstawie przejechanych tras, również w trudnych warunkach atmosferycznych. Pomimo zaawansowanej technologii, pojazdy mogą napotykać trudności w niektórych sytuacjach drogowych, np. w przypadku ruchu kierowanego ręcznie podczas robót drogowych. W celu skorzystania z usługi konieczne jest posiadanie aplikacji mobilnej oraz karty kredytowej wydanej w Stanach Zjednoczonych, co może stanowić utrudnienie dla turystów [<https://fleetlog.pl>, 17.02.2025].

Kolejnym rozwiązaniem jest podwieszana kolej Schwebebahn w niemieckim Wuppertalu (rysunek 3) stanowiąca unikalny element komunikacji miejskiej. Działa od 1901 roku i liczy 13,3 km długości, obejmując 20 stacji. Codziennie przewozi ponad 80 tys. pasażerów, a rocznie korzysta z niej 25 mln osób.



Rys. 3. Podwieszana kolej Schwebebahn

Źródło: na podstawie <https://g.pl/news> [17.02.2025].

Konstrukcja składa się z 486 bramek w kształcie odwróconej litery „U”. Wagony kursują na wysokości od 8 do 12 m nad rzeką Wupper. Pojedynczy wagon ma 24 m długości, mieści 180 pasażerów i osiąga maksymalną prędkość 60 km/h. Przejazd całej trasy trwa około 30 minut [<https://innobaltica.pl>, 17.02.2025]. Wagony są podwieszone na pojedynczej szynie zasilanej napięciem 750 V, mogą wychylać się do 15 stopni. Na końcach trasy wykorzystują specjalne pętle do zawracania. Na całej linii zainstalowano system ETCS, co zwiększyło częstotliwość kursowania pociągów oraz poprawiło bezpieczeństwo ruchu [<https://travel.koleo.pl>, 17.02.2025]. Podobne rozwiązania działają m.in. w Japonii (Shonan Monorail) oraz w Sdla metra, co czyni go atrakcyjnym rozwiązaniem dla miast planujących rozwój infrastruktury komunikacyjnej [<https://innobaltica.pl>, 17.02.2025].

Innym rozwiązaniem stosowanym w transporcie miejskim pasażerskim są automatyczne linie metra (rysunek 4). Île-de-France Mobilités ogłosiło pełną automatyzację linii metra nr 4, która stała się trzecią w Paryżu obsługiwaną wyłącznie przez pociągi bez maszynistów, po liniach nr 14 (1998 r.) i nr 1 (2012 r.). Modernizacja i automatyzacja linii nr 4 trwała od 2016 r., a jej wdrożenie kosztowało 480 mln euro. Za realizację projektu odpowiadał Siemens Mobility. Automatyzacja przyczyniła się do zwiększenia częstotliwości kursów w godzinach szczytu, poprawy bezpieczeństwa dzięki zastosowaniu drzwi peronowych oraz lepszej informacji pasażerskiej.



Rys. 4. Automatyczna linia metra Paryż

Źródło: na podstawie <https://obserwatorlogistyczny.pl> [20.02.2025].

W pełni automatyczny tabor liczy 52 pociągi, z czego do obsługi wykorzystywanych jest maksymalnie 40. Nadzór nad ruchem sprawuje centrum sterowania [<https://www.transport-publiczny.pl>, 17.02.2025]. Linia ta łączy Porte de Clignancourt z Bagneux w Hauts-de-Seine, a pierwsze składy automatyczne wprowadzono we wrześniu 2022 roku. Jest to druga najbardziej obciążona linia metra w mieście [<https://nowaturystyka.pl>, 17.02.2025]. W dalszej perspektywie planowana jest automatyzacja kolejnych linii, w tym linii nr 13, której wdrożenie przewidziano na najbliższą dekadę. Ponadto w najbliższych latach uruchomione zostaną nowe linie nr 15 i nr 18 [<https://nowaturystyka.pl>, 17.02.2025].

Kolejnym rozwiązaniem jest system kolei linowej w La Paz, które stanowi efektywne, ekologiczne i przestrzennie oszczędne rozwiązanie transportowe, które znacząco usprawniło przemieszczanie się mieszkańców (rysunek 5). Dzięki jego wdrożeniu ograniczono czas podróży oraz poprawiono dostępność komunikacyjną, inte-

grując różne grupy społeczne. Model ten może stanowić alternatywę dla tradycyjnych systemów transportu publicznego, szczególnie w trudnych warunkach terenowych [<https://www.deutschland.de>,18.02.2025].



Rys. 5. System kolei linowej w La Paz

Źródło: na podstawie <https://www.transport-publiczny.pl> [18.02.2025].

Kolej gondolowa pełni strategiczną funkcję w systemie transportu publicznego La Paz i El Alto. Obecna długość infrastruktury wynosi 33 km i obejmuje 26 stacji, a operatorem systemu jest Mi Teleférico. Codziennie z usług korzysta do 300 tys. pasażerów, co potwierdza efektywność i potencjał rozwoju tego rozwiązania na skalę globalną [<https://www.transport-publiczny.pl>, 18.02.2025].

Innym rozwiązaniem jest pociąg Maglev. Chiny osiągnęły znaczący postęp w technologii transportowej, testując pociąg Maglev (rysunek 6), który w warunkach laboratoryjnych osiągnął prędkość 623 km/h. Eksperymenty przeprowadzone w prowincji Shanxi wykazały skuteczność systemu lewitacji magnetycznej w połączeniu z niskociśnieniowymi tunelami próżniowymi, co minimalizuje tarcie, hałas i opór powietrza. Projekt realizowany przez China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC) i dąży się do integracji technologii kolejowych i kosmicznych, aby stworzyć system transportu o parametrach konkurujących z lotnictwem cywilnym. W trakcie trzech testów na 210-metrowym odcinku toru potwierdzono prawidłowe działanie systemów.



Rys. 6. Pociąg Maglev

Źródło: na podstawie <https://www.chip.pl> [18.02.2025].

Obecnie jedyna działająca komercyjnie linia Maglev w Chinach obsługuje trasę pomiędzy lotniskiem Pudong a stacją Longyang Road w Szanghaju, osiągając prędkość do 430 km/h [<https://www.nakolei.pl>, 18.02.2025]. Technologia ta wykorzystuje zaawansowane nadprzewodniki, produkowane głównie w Niemczech i Japonii. W porównaniu do systemów maglev, tradycyjna kolej pozostaje technologicznie w tyle o kilkadziesiąt lat [<https://forsal.pl>, 18.02.2025]. Chiny kontynuują prace nad rozwojem tej technologii, dążąc do zwiększenia komfortu podróży oraz znaczącego skrócenia czasu przejazdu między głównymi ośrodkami miejskimi. Planowane wdrożenie pociągów osiągających prędkość do 1000 km/h może istotnie wpłynąć na efektywność transportu, eliminując bariery geograficzne i skracając czas podróży do kilkudziesięciu minut. Dynamiczny rozwój kolei magnetycznej umacnia pozycję Chin jako lidera innowacji technologicznych i stanowi krok w kierunku przyszłości, w której ultraszybki transport stanie się standardem [<https://obserwatorlogistyczny.pl>, 18.02.2025].

Innym przykładem jest budowa pierwszego z 130 zamówionych pociągów Coradia Max w Chorzowie (rysunek 7) dla Badenii-Wirtembergii. Pierwszy pociąg opuścił fabrykę i rozpoczął testy w Niemczech. Czterowagonowy skład, obejmujący dwa wagony dwupokładowe i dwa jednopokładowe, pomieści 380 pasażerów, spełniając wymagania regionalnego transportu.

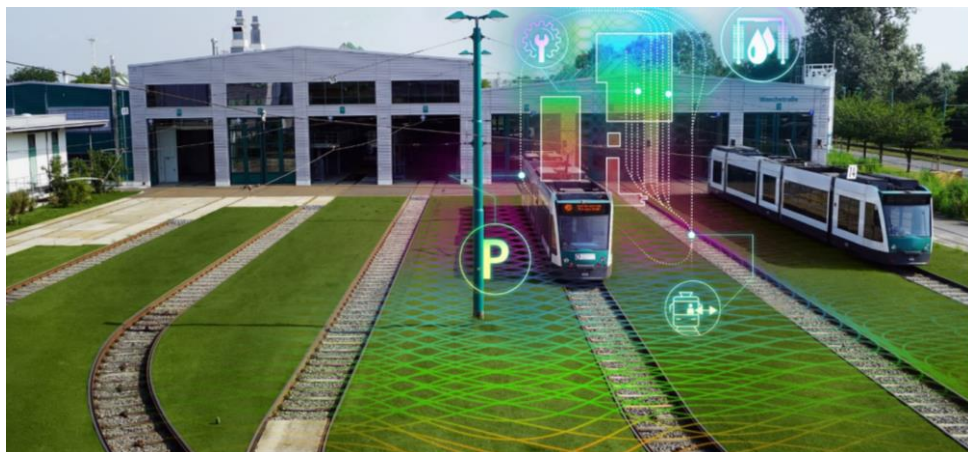


Rys. 7. Coradia Max Alstom

Źródło: na podstawie <https://www.slazag.pl> [20.02.2025].

Produkcja odbywa się w całości w Chorzowie, stanowiąc największy projekt zakładu w zakresie pociągów piętrowych. Po testach skład wróci do Chorzowa na końcowe prace, w tym wyposażenie wnętrza [<https://pl.railmarket.com>, 20.02.2025]. Coradia Max to nowoczesny, niskopodłogowy elektryczny zespół trakcyjny (EMU) o prędkości do 200 km/h. Jego modułowa konstrukcja pozwala na dostosowanie konfiguracji i wnętrza do potrzeb operatorów. Pociąg zapewnia wysoki komfort podróży, oferując m.in. klimatyzację, Wi-Fi, punkty ładowania urządzeń, oświetlenie do czytania oraz przestrzeń na bagaże, wózki i rowery. Przystosowany jest także do potrzeb osób o ograniczonej mobilności. W Europie zamówiono już ponad 500 tych pojazdów [<https://www.alstom.com>, 20.02.2025].

Kolejnym innowacyjnym rozwiązaniem jest autonomiczny tramwaj, który jest opracowany przez Siemens Mobility we współpracy z Verkehrsbetrieb Potsdam (ViP) w Poczdamie. Tramwaj ten, bazujący na modelu Combino, został wyposażony w zaawansowane systemy czujników, w tym kamery, radary oraz lidary, umożliwiające precyzyjną nawigację i analizę otoczenia w czasie rzeczywistym (rysunek 8).



Rys. 8. Autonomiczny tramwaj w Poznaniu

Źródło: na podstawie <https://raportkolejowy.pl> [24.02.2025].

Podczas testów na sześciokilometrowej trasie tramwaj samodzielnie pokonywał skrzyżowania, zatrzymywał się na przystankach oraz reagował na dynamiczne sytuacje na drodze, takie jak obecność pieszych [<https://www.transport-publiczny.pl>, 21.02.2025]. Kolejnym etapem jest cyfryzacja zajezdni, mająca na celu przystosowanie jej do obsługi autonomicznych tramwajów, w tym automatyzację procesów, takich jak przejazd przez myjnię na bocznicy. Automatyzacja ta ma przynieść korzyści ekonomiczne w perspektywie średnioterminowej i stanowić pierwszy etap wdrażania systemu autonomicznych tramwajów. Projekt badawczy obejmuje również analizę ram prawnych oraz wymagań dla komercyjnych pojazdów autonomicznych [<https://www.mobility.siemens.com>, 24.02.2025].

Ostatnim nowoczesnym rozwiązaniem jest latająca taksówka (rysunek 9). Przedsiębiorstwo *EHang Holdings* poinformowało o uzyskaniu zgody od władz chińskich na rozpoczęcie komercyjnych operacji powietrznych swojego autonomicznego środka transportu [<https://businessinsider.com.pl>, 25.02.2025].



Rys. 9. Latająca taksówka E216-S

Źródło: na podstawie <https://chiny24.com> [26.02.2025].

Pojazd powietrzny E216-S jest przystosowany do pionowego startu i lądowania oraz autonomicznego pilotażu. Może przewozić dwóch pasażerów z maksymalną prędkością 100 km/h, przy dopuszczalnym ładunku do 250 kg. Czas lotu na jednym ładowaniu wynosi około 25 minut, co ogranicza jego zastosowanie do krótkich tras. Autonomia lotu opiera się na pokładowych systemach nawigacyjnych oraz technologiach rozwijanych przez firmę przez ostatnie trzy lata [<https://www.bankier.pl>, 26.02.2025]. Statek powietrzny wyposażony jest w 16 silników elektrycznych i zasilany akumulatorami, których pełne naładowanie zajmuje 120 minut. Kadłub wykonano z kompozytu włókna węglowego, co zapewnia wysoką wytrzymałość przy jednoczesnym zachowaniu niskiej masy. Rozpoczęcie pierwszych komercyjnych lotów autonomicznych dronów pasażerskich planowane jest w 2025 roku [<https://spidersweb.pl>, 26.02.2025].

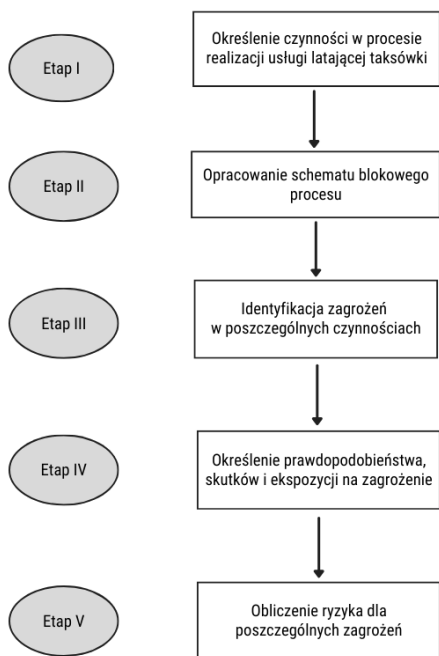
Podczas gdy Chiny wdrażają nowatorskie rozwiązania w transporcie powietrznym, inne kraje, w tym państwa europejskie i Stany Zjednoczone, również intensyfikują prace nad własnymi projektami. Oczekuje się, że komercyjne wdrożenie latających taksówek nastąpi w najbliższych latach, co może przyczynić się do ograniczenia korków i przyspieszenia transportu miejskiego. Rozwój tej technologii rodzi jednak pytania dotyczące bezpieczeństwa oraz wpływu na przestrzeń powietrzną. Wraz z postępem innowacji sektor transportu powietrznego wkracza w nową fazę rozwoju, której skutki będą obserwowane w nadchodzących latach [<https://mycompanypolska.pl>, 26.02.2025].

3. Metodyka badań

Przeprowadzone badania mają na celu poszukiwanie odpowiedzi na pytania badawcze:

1. Jakie zagrożenia można wyróżnić stosując autonomiczne latające taksówki?
2. Jak wysokie jest ryzyko w kontekście wszystkich zagrożeń?

Metodyka badań opiera się na 5 etapach (rysunek 10). W etapie I dokonuje się identyfikacji poszczególnych czynności składających się na cały proces świadczenia usługi. Etap II obejmuje opracowanie schematu blokowego, który pozwala na graficzne zobrazowanie sekwencji działań i zależności między nimi. W kolejnym kroku, tj. etapie III, następuje identyfikacja potencjalnych zagrożeń związanych z każdą z czynności procesu. Etap IV koncentruje się na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia, jego potencjalnych skutków oraz stopnia ekspozycji na dane zagrożenie. Ostatni, V etap, obejmuje obliczenie poziomu ryzyka dla zidentyfikowanych zagrożeń, co stanowi podstawę do dalszych działań związanych z zarządzaniem ryzykiem w analizowanym procesie.



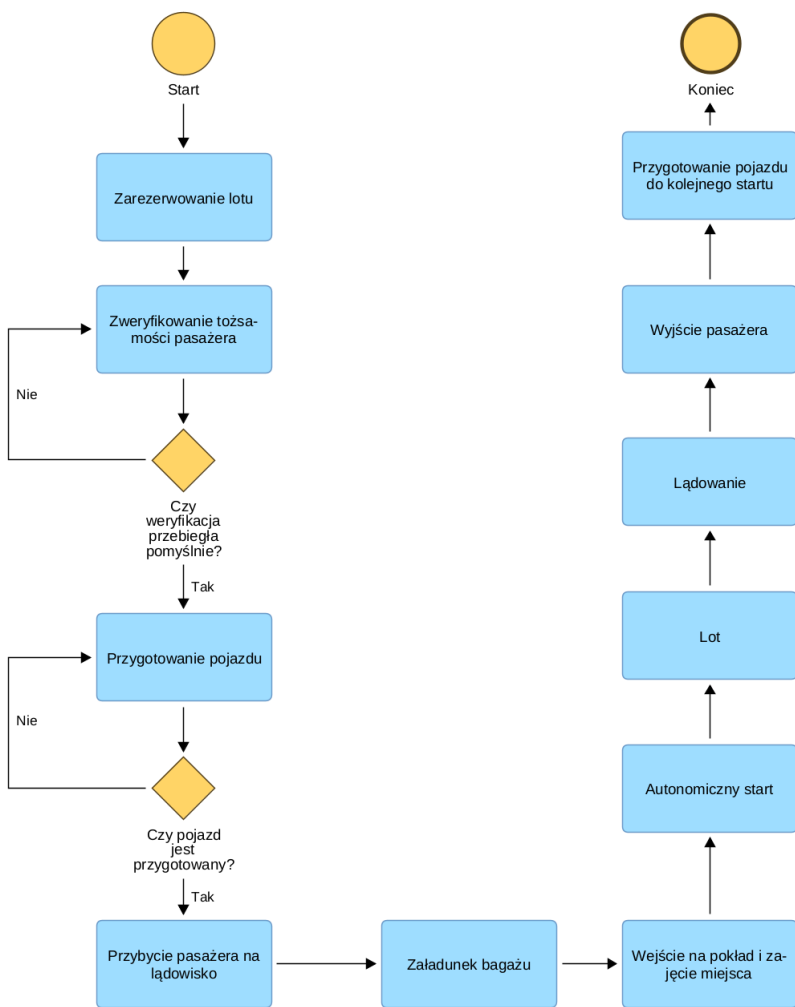
Rys. 10. Metodyka badań

Źródło: opracowanie własne.

W celu zweryfikowania oceny ryzyka z zastosowania latających taksówek autonomicznych przeprowadzono analizę oceny ryzyka wykorzystując metodę Risk Score. Metoda Risk Score jest metodą jakościową, która pozwala dokonać oceny ryzyka występujących zagrożeń w danym procesie. Określa się prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia, ekspozycję na zagrożenie (czyli częstość wystąpienia) oraz potencjalne skutki zagrożeń [Chrzan, Chrzan, 2017].

4. Wyniki badań

Pierwszym etapem przeprowadzonych badań było określenie czynności w procesie realizacji usługi latającej taksówki. Zostało określonych 11 czynności, które zostały przedstawione na schemacie blokowym (rysunek 11). Proces rozpoczyna się od zarezerwowania lotu przez pasażera, po czym następuje weryfikacja jego tożsamości. W przypadku pozytywnej weryfikacji następuje przygotowanie pojazdu do lotu. Jeśli pojazd jest gotowy, pasażer udaje się na lądowisko, dokonuje załadunku bagażu oraz wchodzi na pokład i zajmuje miejsce. Następnie pojazd rozpoczyna autonomiczny start, po którym odbywa się właściwy lot. Po wylądowaniu pasażer opuszcza pojazd, który jest następnie przygotowywany do kolejnego cyklu usługi. Przedstawiony diagram ilustruje logiczną i sekwencyjną strukturę czynności, uwzględniając decyzje warunkujące przejście do kolejnych etapów procesu. Na przedstawionym schemacie uwzględniono dwa kluczowe punkty decyzyjne, które warunkują przejście do kolejnych etapów procesu. Pierwszy z nich dotyczy pozytywnej weryfikacji tożsamości pasażera – w przypadku niepowodzenia proces nie może być kontynuowany. Drugi punkt decyzyjny odnosi się do gotowości pojazdu do lotu; jeśli pojazd nie jest przygotowany, nie można rozpocząć dalszych działań związanych z przyjęciem pasażera i wykonaniem usługi.



Rys. 11. Diagram procesu z realizacji usługi latającej taksówki

Źródło: opracowanie własne przy użyciu oprogramowania Adonis.

W kolejnym etapie przeprowadzonych badań dokonano identyfikacji potencjalnych zagrożeń mogących wystąpić w poszczególnych czynnościach składających się na proces realizacji usługi latającej taksówki (tabela 1). Dla każdej z wyróżnionych wcześniej jedenastu czynności określono możliwe źródła ryzyka, uwzględniając zarówno czynniki techniczne, organizacyjne, jak i środowiskowe.

Identyfikacja zagrożeń obejmowała m.in. problemy techniczne (np. awarie systemów pokładowych, usterki diagnostyczne), błędy ludzkie (np. nieprzestrzeganie procedur przez pasażerów, brak odpowiedniego przeszkolenia personelu), zagrożenia związane z cyberbezpieczeństwem (np. kradzież danych, ataki na systemy sterowania) oraz czynniki zewnętrzne (np. opóźnienia komunikacyjne, zmienne warunki pogodowe). Tak szczegółowe podejście do identyfikacji ryzyka stanowi fundament dla dalszych analiz ilościowych oraz dla projektowania działań prewencyjnych i zabezpieczających w procesie świadczenia usługi.

Tab. 1. Zagrożenia w odniesieniu do wskazanych na schemacie czynności

Lp.	Czynność	Zagrożenia
1.	Zarezerwowanie lotu	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji; Cyberataki i kradzież danych osobowych
2.	Zweryfikowanie tożsamości pasażera	Falszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp); Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym); Opóźnienia spowodowane problemami technicznymi
3.	Przygotowanie pojazdu	Niewykryte usterki techniczne; Niewystarczające naładowanie baterii
4.	Przybycie pasażera na lądowisko	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu); Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach
5.	Łaładunek bagażu	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku; Uszkodzenie bagażu podczas załadunku; Błąd w systemie identyfikacji bagażu
6.	Wejście na pokład i zajęcie miejsca	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu; Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa; Brak odpowiedniego instruktażu dla pasażera
7.	Autonomiczny start	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania; Zakłócenia sygnału GPS lub sieci komunikacyjnej; Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu
8.	Lot	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza); Ryzyko kolizji z dronami lub innymi obiektami latającymi; Cyberatak na system sterowania lotem
9.	Lądowanie	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu); Nieoczekiwane przeszkody na miejscu lądowania; Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)
10.	Wyjście pasażera	Awaria systemu otwierania drzwi; Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe; Automatyczne zamknięcie drzwi przed całkowitym opuszczeniem kabiny
11.	Przygotowanie pojazdu do kolejnego lotu	Opóźnienia w serwisowaniu pojazdu; Błędy w diagnostyce technicznej (np. nie wykrycie usterki);

Lp.	Czynność	Zagrożenia
		Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania; Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym etapie analizy ryzyka dokonano oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zidentyfikowanych zagrożeń, wykorzystując metodę Risk Score, która umożliwia przypisanie wartości liczbowych dla określonych poziomów prawdopodobieństwa. Ocenie poddano każde z uprzednio wskazanych zagrożeń, przypisując odpowiedni opis słowny oraz wartość liczbową w skali od 0,5 (bardzo niskie prawdopodobieństwo) do 6 (wysokie prawdopodobieństwo) (tabela 2).

Wyniki analizy wskazują, że najwyższym prawdopodobieństwem charakteryzują się takie zagrożenia jak: cyberataki i kradzież danych osobowych, fałszowanie tożsamości, niewykryte usterki techniczne, awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania, przegrzanie baterii, a także brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu. Wszystkie te przypadki uzyskały wartość 6, co oznacza, że są one „całkiem możliwe” w realizacji procesu. Z kolei najniższe wartości (0,5) przypisano zagrożeniom trudnym do przewidzenia, lecz potencjalnie możliwym, jak niewystarczające naładowanie baterii oraz nagłe zmiany pogody.

Tab. 2. Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń metodą Risk Score

Lp.	Zagrożenie	Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń	
		Opis	Wartość
1.	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
2.	Cyberataki i kradzież danych osobowych	Całkiem możliwe	6
3.	Fałszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp)	Całkiem możliwe	6
4.	Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym)	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
5.	Niewykryte usterki techniczne	Całkiem możliwe	6
6.	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu)	Tylko sporadycznie możliwe	1
7.	Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach	Tylko sporadycznie możliwe	1
8.	Niewystarczające naładowanie baterii	Możliwe do pomyślenia	0,5

Lp.	Zagrożenie	Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń	
		Opis	Wartość
9.	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku	Tylko sporadycznie możliwe	1
10.	Uszkodzenie bagażu podczas załadunku	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
11.	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu	Tylko sporadycznie możliwe	1
12.	Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
13.	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania	Całkiem możliwe	6
14.	Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
15.	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza)	Możliwe do pomyślenia	0,5
16.	Cyberatak na system sterowania lotem	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
17.	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu)	Tylko sporadycznie możliwe	1
18.	Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
19.	Awaria systemu otwierania drzwi	Tylko sporadycznie możliwe	1
20.	Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe	Mało prawdopodobne, ale możliwe	3
21.	Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania	Całkiem możliwe	6
22.	Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu;	Całkiem możliwe	6

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym etapem oceny ryzyka było określenie potencjalnych skutków zidentyfikowanych zagrożeń. Podobnie jak w przypadku oceny prawdopodobieństwa, zastosowano metodę Risk Score, umożliwiającą przypisanie wartości liczbowych dla różnych kategorii strat. Wartości te odzwierciedlają możliwą skalę konsekwencji

wynikających z wystąpienia danego zagrożenia – od strat małych (wartość 1) do poważnych katastrof (wartość 100), (tabela 3).

Analiza wykazała, że największe potencjalne straty mogą wynikać z takich zdarzeń jak: niewykryte usterki techniczne, awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania, kolizja z innymi pojazdami w powietrzu oraz przegrzanie baterii – wszystkie one zostały sklasyfikowane jako poważna katastrofa, z przypisaną wartością 100. Znaczące ryzyko wiąże się również z nieprzestrzeganiem procedur bezpieczeństwa przez pasażera, cyberatakiem na system sterowania lotem czy brakiem wykwalifikowanego personelu technicznego, które uzyskały wartość 40, co odpowiada kategorii katastrofa. Najmniejsze skutki przypisano zaś takim zagrożeniom jak uszkodzenie bagażu podczas załadunku oraz pozostawienie bagażu w pojeździe, których konsekwencje oceniono jako małe. Uzyskane wyniki stanowią istotny wkład w końcową ocenę poziomu ryzyka dla całego procesu świadczenia usługi.

Tab. 3. Ocena skutków zagrożeń metodą Risk Score

Lp.	Zagrożenie	Skutki zagrożeń	
		Strata	Wartość
1.	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji	Duża	7
2.	Cyberataki i kradzież danych osobowych	Duża	7
3.	Fałszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp)	Średnia	3
4.	Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym)	Bardzo duża	15
5.	Niewykryte usterki techniczne	Poważna katastrofa	100
6.	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu)	Średnia	3
7.	Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach	Średnia	3
8.	Niewystarczające naładowanie baterii	Katastrofa	40
9.	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku	Duża	7
10.	Uszkodzenie bagażu podczas załadunku	Mała	1
11.	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu	Bardzo duża	15
12.	Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa	Katastrofa	40

Lp.	Zagrożenie	Skutki zagrożeń	
		Strata	Wartość
13.	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania	Poważna katastrofa	100
14.	Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu	Poważna katastrofa	100
15.	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza)	Bardzo duża	15
16.	Cyberatak na system sterowania lotem	Katastrofa	40
17.	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu)	Duża	7
18.	Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)	Bardzo duża	15
19.	Awaria systemu otwierania drzwi	Duża	7
20.	Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe	Mała	1
21.	Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania	Poważna katastrofa	100
22.	Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu;	Katastrofa	40

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym kroku dokonano oceny ekspozycji na zagrożenia. Definiowana jest ona jako częstotliwość, z jaką dana sytuacja niebezpieczna może mieć miejsce w rzeczywistych warunkach funkcjonowania systemu. Zgodnie z metodą Risk Score, każdemu zagrożeniu przypisano odpowiedni poziom ekspozycji – od znikomej (wartość 0,5) do stałej (wartość 10), (tabela 4).

Wyniki analizy wskazują, że najwyższa ekspozycja dotyczy nagłych zmian pogodowych, które oceniono jako stałe zagrożenie ze względu na dynamiczne warunki atmosferyczne mające istotny wpływ na operacje lotnicze. Wysoką ekspozycję odnotowano również w przypadku opóźnień pasażerów, uznanych za zagrożenie częste (wartość 6).

Natomiast większość zagrożeń technicznych i systemowych – takich jak awarie systemów, przegrzanie baterii, kolizje w powietrzu czy awarie drzwi pojazdu – uzyskała bardzo niskie wartości ekspozycji (0,5–1), co wskazuje na ich sporadyczne lub incydentalne występowanie w badanym kontekście operacyjnym.

Tab. 4. Ocena ekspozycji na zagrożenie metodą Risk Score

Lp.	Zagrożenie	Ekspozycja na zagrożenie	
		Opis	Wartość
1.	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
2.	Cyberataki i kradzież danych osobowych	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
3.	Fałszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp)	Minimalna (kilka razy w roku)	1
4.	Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym)	Minimalna (kilka razy w roku)	1
5.	Niewykryte usterki techniczne	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
6.	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu)	Częsta (codziennie)	6
7.	Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
8.	Niewystarczające naładowanie baterii	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
9.	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku	Minimalna (kilka razy w roku)	1
10.	Uszkodzenie bagażu podczas załadunku	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
11.	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
12.	Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa	Minimalna (kilka razy w roku)	1
13.	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania	Minimalna (kilka razy w roku)	1
14.	Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
15.	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza)	Stała	10
16.	Cyberatak na system sterowania lotem	Sporadyczna (raz na tydzień)	3

Lp.	Zagrożenie	Eskpozycja na zagrożenie	
		Opis	Wartość
17.	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu)	Minimalna (kilka razy w roku)	1
18.	Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
19.	Awaria systemu otwierania drzwi	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
20.	Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe	Sporadyczna (raz na tydzień)	3
21.	Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania	Znikoma (raz do roku i rzadziej)	0,5
22.	Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu;	Minimalna (kilka razy w roku)	1

Źródło: opracowanie własne.

W ostatnim etapie przeprowadzono kompleksową ocenę ryzyka zidentyfikowanych zagrożeń, stosując metodę Risk Score, która uwzględnia trzy główne składowe: prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia, potencjalne skutki oraz stopień ekspozycji. Dla każdego zagrożenia wyliczono wskaźnik ryzyka jako iloczyn tych trzech wartości, a uzyskane wyniki przypisano do jednej z czterech kategorii ryzyka: akceptowalne, tolerowane, wysokie oraz nieakceptowalne – zgodnie z przyjętą skalą oceny (tabela 5).

Analiza wykazała, że najwyższe wartości ryzyka dotyczą zagrożeń o dużym potencjale katastrofalnym, takich jak: niewykryte usterki techniczne (1800), awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania (600), brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu (240) oraz kolizja z innymi pojazdami w powietrzu (150). Te zagrożenia zostały sklasyfikowane odpowiednio jako nieakceptowalne lub tolerowane, co wskazuje na konieczność wdrożenia działań korygujących lub ograniczających ryzyko. Warto również zwrócić uwagę na zagrożenia zaklasyfikowane jako wysokie, takie jak cyberatak na system sterowania lotem (360) oraz przegrzanie baterii (300). Ze względu na możliwe poważne skutki wymagają szczególnej uwagi w kontekście planowania środków zapobiegawczych.

Z kolei najniższe wartości ryzyka (poniżej 20) uzyskały zagrożenia operacyjne o ograniczonym zasięgu, takie jak na przykład: pozostawienie bagażu w pojeździe,

uszkodzenie bagażu, opóźnienia pasażera czy fałszowanie tożsamości, zostały sklasyfikowane jako akceptowalne. Oznacza to, że ryzyko ich wystąpienia mieści się w granicach dopuszczalnych z punktu widzenia funkcjonowania systemu.

Tab. 5. Ocena ryzyka zagrożeń metodą Risk Score

Lp.	Zagrożenie	Ryzyko	
		Kategoria	Wskaźnik
1.	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji	Tolerowane	63
2.	Cyberataki i kradzież danych osobowych	Akceptowalne	21
3.	Fałszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp)	Akceptowalne	18
4.	Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym)	Akceptowalne	45
5.	Niewykryte usterki techniczne	Nieakceptowalne	1800
6.	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu)	Akceptowalne	18
7.	Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach	Akceptowalne	9
8.	Niewystarczające naładowanie baterii	Akceptowalne	10
9.	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku	Akceptowalne	21
10.	Uszkodzenie bagażu podczas załadunku	Akceptowalne	9
11.	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu	Akceptowalne	7,5
12.	Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa	Tolerowane	120
13.	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania	Nieakceptowalne	600
14.	Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu	Tolerowane	150
15.	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza)	Tolerowane	75
16.	Cyberatak na system sterowania lotem	Wysokie	360

Lp.	Zagrożenie	Ryzyko	
		Kategoria	Wskaźnik
17.	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu)	Akceptowalne	7
18.	Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)	Tolerowane	135
19.	Awaria systemu otwierania drzwi	Akceptowalne	3,5
20.	Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe	Akceptowalne	9
21.	Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania	Wysokie	300
22.	Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu	Tolerowane	240

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonej identyfikacji zagrożeń oraz oceny poziomu ryzyka, w ostatnim kroku zaproponowano środki ograniczające lub eliminujące wystąpienie poszczególnych zagrożeń (tabela 6). Celem tych działań jest zminimalizowanie ryzyka do poziomu akceptowalnego bądź tolerowanego oraz zwiększenie bezpieczeństwa realizacji usługi latającej taksówki.

W zależności od rodzaju zagrożenia, wskazane środki obejmują zarówno rozwiązania technologiczne (np. systemy automatycznego monitorowania, systemy antykolizyjne, zaawansowane mechanizmy szyfrowania danych), jak i organizacyjne (np. szkolenia personelu, procedury awaryjne, systemy rezerwacji i zarządzania ruchem). W szczególności podkreślono konieczność wdrożenia regularnych przeglądów technicznych, ciągłego doskonalenia systemów IT, a także rozwoju procedur nadzorczych i kontrolnych, które wspierają bezpieczną realizację każdego etapu procesu.

Dla zagrożeń o charakterze krytycznym, takich jak niewykryte usterki techniczne, awarie systemów nawigacyjnych, cyberataki czy przegrzanie baterii, zaproponowano wdrożenie systemów samodiagnostyki, systemów wykrywania intruzów (IDS) oraz zaawansowanych mechanizmów chłodzenia i zarządzania energią, które znacząco redukują ryzyko wystąpienia incydentów o poważnych skutkach.

Tab. 6. Środki ograniczające lub eliminujące wystąpienie zagrożeń

Lp.	Zagrożenie	Środki ograniczające lub eliminujące wystąpienie zagrożeń
1.	Awaria aplikacji lub błędne dane rezerwacji	Regularne testowanie i aktualizacja aplikacji; Wdrożenie systemu powiadomień o błędach dla użytkowników i administratorów
2.	Cyberatak i kradzież danych osobowych	Zastosowanie zaawansowanego szyfrowania danych; Regularne audyty bezpieczeństwa IT
3.	Falszowanie tożsamości (np. nieautoryzowany dostęp)	Dwustopniowa weryfikacja tożsamości; Monitorowanie i analiza podejrzanego aktywności użytkowników
4.	Awaria systemu weryfikacji (np. błędy w skanowaniu biometrycznym)	Regularne testy systemu biometrycznego; Alternatywna metoda weryfikacji (np. kod QR, dokumenty)
5.	Niewykryte usterki techniczne	Regularne przeglądy techniczne pojazdów; Wdrożenie systemów samodiagnostyki
6.	Opóźnienie pasażera (np. korki, brak transportu)	Powiadomienia o możliwych opóźnieniach i alternatywnych trasach transportu; Możliwość rezerwacji kolejnego dostępnego lotu
7.	Nieprawidłowa odprawa, błędy w dokumentach	Automatyczny system skanowania i weryfikacji dokumentów; Szkolenia personelu obsługi pasażerów
8.	Niewystarczające naładowanie baterii	System monitorowania poziomu naładowania i automatyczne alerty; Obowiązkowe ładowanie do pełnej pojemności przed każdym lotem
9.	Przekroczenie dopuszczalnej masy ładunku	Automatyczna waga i system kontroli masy bagażu przed lotem; Szkolenia dla personelu odpowiedzialnego za załadunek
10.	Uszkodzenie bagażu podczas załadunku	Używanie systemów automatycznego transportu bagażu; Regularne kontrole sprzętu i procedur załadunkowych
11.	Awaria pasów bezpieczeństwa lub drzwi pojazdu	Regularne przeglądy techniczne i testy sprzętu; Wymiana zużytych komponentów według harmonogramu
12.	Nie stosowanie się pasażera do procedur bezpieczeństwa	Szkolenia i instruktaże dla pasażerów przed lotem; Obecność personelu nadzorującego przestrzeganie zasad
13.	Awaria systemu nawigacyjnego lub sterowania	System awaryjny układu nawigacyjnego; Regularne testy i aktualizacje oprogramowania
14.	Kolizja z innymi pojazdami w powietrzu	Wprowadzenie zaawansowanego systemu antykolizyjnego; Monitorowanie ruchu lotniczego w czasie rzeczywistym
15.	Nagłe zmiany pogody (np. silny wiatr, burza)	System prognozowania pogody i alertów dla pilotów; Możliwość zmiany trasy w czasie rzeczywistym
16.	Cyberatak na system sterowania lotem	Wdrożenie systemów wykrywania intruzów w systemach IT; Regularne aktualizacje i testy zabezpieczeń

Lp.	Zagrożenie	Środki ograniczające lub eliminujące wystąpienie zagrożeń
17.	Zablokowane lądowisko (np. inny pojazd na miejscu)	Wprowadzenie systemu rezerwacji i zarządzania lądowiskami w czasie rzeczywistym; Wyznaczenie alternatywnego miejsca lądowania w planie lotu
18.	Błąd w planowaniu kolejności lądowań (np. kilka taksówek próbujących lądować jednocześnie)	Automatyczny system zarządzania ruchem lotniczym; Ścisła koordynacja z kontrolą lotów
19.	Awaria systemu otwierania drzwi	System ręcznego awaryjnego otwierania drzwi; Regularne testy mechanizmów otwierania
20.	Pozostawienie bagażu lub innych przedmiotów w pojeździe	System przypomnień dla pasażerów przy wyjściu; Automatyczna inspekcja kabiny po każdym locie
21.	Przegrzanie baterii – ryzyko pożaru lub uszkodzenia systemu zasilania	System chłodzenia i monitorowania temperatury baterii; Używanie bezpiecznych technologii baterii o niskim ryzyku przegrzania
22.	Brak wykwalifikowanych osób do przeprowadzenia diagnostyki pojazdu;	Szkolenia dla personelu technicznego; Automatyczne systemy diagnostyczne wspomagające analizę usterek

Źródło: opracowanie własne.

5. Dyskusja wyników

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, iż najwyższe, a zarazem nieakceptowalne ryzyko występuje przy zagrożeniach związanych z niewykrytymi usterkami technicznymi oraz awarią systemu nawigacyjnego, natomiast cyberatak na system sterowania lotem i przegrzanie baterii mają wysoki poziom ryzyka.

Jednym z kluczowych zagrożeń są niewykryte usterki techniczne. W 2022 roku podczas przeprowadzania lotów testowych latających taksówek przedsiębiorstwa eVTOL-e, doszło do awarii łopat śmigła [<https://wyborcza.pl>, 29.03.2025]. Innym przykładem jest również prototyp taksówki powietrznej startupu Vertical Aerospace, który podczas testów spadł, ze względu na usterkę śmigła [<https://aerospace-america.aiaa.org>, 29.03.2025].

W celu ograniczenia lub eliminacji zagrożeń należy wprowadzić różnorodne środki jak regularne przeprowadzanie przeglądów technicznych, wdrożenie systemów samodiagnostyki czy systemów awaryjnych. W zakresie cyberbezpieczeństwa konieczne jest zastosowanie systemów wykrywania intruzów i regularne aktualizacje zabezpieczeń. Natomiast monitorowanie temperatury baterii i stosowanie bezpiecznych technologii pomoże zminimalizować ryzyko przegrzania. Dzięki tym rozwiązaniom latające taksówki mogą stać się bezpiecznym i niezawodnym środkiem

transportu, który zrewolucjonizuje przemieszczanie się w miastach, zmniejszając korki. Choć początkowo wdrożenie będzie wyzwaniem, w dłuższej perspektywie technologia ta ma potencjał do dynamicznego rozwoju.

Podsumowanie

Z przeprowadzonych analiz wynika, że autonomiczne latające taksówki wymagają jeszcze udoskonalenia, aby w przyszłości mogły być wdrożone w miastach. Kluczowe kwestie to nie tylko kwestie techniczne, takie jak niezawodność systemów nawigacyjnych i wytrzymałość komponentów, ale także aspekty związane z bezpieczeństwem cybernetycznym oraz regulacjami prawnymi. Rozwój tej technologii wymaga ścisłej współpracy inżynierów, ekspertów ds. cyberbezpieczeństwa oraz organów regulacyjnych. Niezbędne są także dalsze testy i inwestycje w nowoczesne systemy kontroli lotów oraz awaryjne mechanizmy zabezpieczające. Ponadto społeczne zaufanie do tej formy transportu będzie odgrywać ważną rolę w jej powszechnym wdrożeniu. Choć pełna implementacja tej innowacji może zająć jeszcze kilka lat, wizja futurystycznych miast, w których podróże powietrzne będą codziennością, staje się coraz bardziej realna.

ORCID iD

Klaudia Budna: <https://orcid.org/0000-0002-3375-0890>

Danuta Szpilko: <https://orcid.org/0000-0002-2866-8059>

Literatura

1. Aerospaceamerica, <https://aerospaceamerica.aiaa.org/vertical-aerospace-traces-air-taxi-crash-to-propeller-blade/> [29.03.2025].
2. ALSTOM, <https://www.alstom.com/pl/press-releases-news/2024/11/pierwszy-dwupoziomowy-pociag-coradia-max-wyprodukowany-w-chorzowie-wyjechal-do-niemiec/> [20.02.2025].
3. Bankier.pl, <https://www.bankier.pl/wiadomosc/To-juz-nie-science-fiction-Pierwszy-kraj-wprowadza-latajace-taksowki-8633018.html> [26.02.2025].
4. Business Insider, <https://businessinsider.com.pl/technologie/nowe-technologie/chiny-pierwszym-krajem-z-autonomicznymi-latajacymi-taksowkami/rb8tnmf/> [25.02.2025].

5. Chrzan T., Chrzan B.R. (2017), *Metoda Risc - Score w ocenie ryzyka zawodowego operatora przenośnika taśmowego w Kopalniach Odkrywkowych węgla brunatnego*, Górnictwo Odkrywkowe, 5, s. 49-54.
6. Chiny24.com, <https://chiny24.com/news/latajace-samochody-latajace-taksowki-czyli-evtol-made-in-china/> [26.02.2025].
7. CHIP, <https://www.chip.pl/2024/12/chiny-pociag-lewitacja-magnetyczna-5g/> [18.02.2025].
8. CUK, <https://cuk.pl/porady/pojazdy-autonomiczne> [29.03.2025].
9. Deutschland.de, <https://www.deutschland.de/pl/topic/zycie/la-paz-przewozi-osoby-do-jezdzajace-do-pracy-przez-miasto-kolejka-linowa/> [18.02.2025].
10. Ejdy J. (2024). *Smart and Sustainable Mobility Technologies: Technology Acceptance Models Constructs Review*. In: Arai K. (eds.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2024, Volume 1. FTC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1154. Springer, Cham.
11. Fleetlog, <https://fleetlog.pl/flota/transport-indywidualny/autonomiczne-taksowki-sanfrancisco-ma-je-juz-od-roku/> [17.02.2025].
12. FORSAL.PL, <https://forsal.pl/artykuly/535643,maglev-pociagi-unoszace-sie-nad-ziemia-z-zawrotna-predkoscia.html/> [18.02.2025].
13. Garikapati D., Shetiya S. S. (2024). *Autonomous Vehicles: Evolution of Artificial Intelligence and the Current Industry Landscape*. *Big Data and Cognitive Computing*, 8(4).
14. Gazeta.pl, <https://podroze.gazeta.pl/podroze/7,182657,31245809,wyjatkowa-atrakcja-nieopodal-polski-u-nas-i-czyms-takim-mozna.html> [17.02.2025].
15. Gulc A., Budna K. (2024). *Classification of Smart and Sustainable Urban Mobility*. *Energies*, 17(9).
16. Gunte G., Work D. (2022). *Safe driving with control barrier functions in mixed autonomy traffic when cut-ins occur*. 2022 European Control Conference (ECC), s. 411-416.
17. InnoBaltica, <https://innobaltica.pl/innobaltica/tramwaj-powietrzny/> [17.02.2025].
18. Jalwani K. A., Choudhury S. R. (2023). *Modeling of Barriers to the Adoption of Autonomous Vehicles: DEMATEL Method*. *Engineering Proceedings*, 59(1).
19. Khayatian M., Mehrabian M., Tseng I.-C., Lin C.-W., Belt C., Shrivastava A. (2024). *Co-operative Driving of Connected Autonomous vehicle using Responsibility Sensitive Safety Rules: A Control Barrier Functions Approach*. *ACM Trans. Cyber-Phys. Syst.*, 8(3).
20. Koleo, <https://travel.koleo.pl/niemcy/wuppertal-schwebebahn/> [17.02.2025].
21. Komisja Europejska, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016DC0787&from=PL> [29.03.2025].
22. Monitor, <https://www.monitorlocalnews.com/taksowki-bez-kierowcy-juz-jezdza-rozpoczela-sie-nowa-era/> [17.02.2025].

23. Mutzenich C., McVey F., Martin C., Harding C. (2024). *Driving the Future: Addressing Generational Trust and Ownership Barriers in the Adoption of Connected and Autonomous Vehicles*. 2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), s. 397-402.
24. My Company Polska, <https://mycompanypolska.pl/artykul/latajace-taksowki-w-chinach-omina-korki-przyszlosc-transportu-rodem-z-jetsonow-zaczyna-siedzis/13118/> [26.02.2025].
25. Nakolei, <https://www.nakolei.pl/pociag-maglev-w-chinach-osiagnal-predkosc-623-km-h-alternatywa-dla-lotnictwa-cywilnego/> [18.02.2025].
26. Nowa turystyka, <https://nowaturystyka.pl/w-paryzu-otwarto-trzecia-w-pelni-automatyczna-linie-metra/> [17.02.2025].
27. Obserwator logistyczny, https://obserwatorlogistyczny.pl/2024/08/12/chinczycy-two-rza-najszybszy-pociag-swiata-pojedzie-1000-km-h/#goog_rewarded/ [18.02.2025].
28. Panasewicz K., Alonso J. A. (2023). *Perspective of future use of autonomous robotaxes in cities*. Akademia Zarządzania, 7(3), s. 213-232.
29. Parlament Europejski, <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20190110STO23102/samochody-autonomiczne-w-ue-od-fantastyki-naukowej-do-rzeczywistosci> [29.03.2025].
30. PolskieRadio, <https://www.polskieradio.pl/10/10332/artykul/3223521,pojazdy-autonomiczne-kiedy-wyjada-na-polskie-drogi> [29.03.2025].
31. Railmarket, <https://pl.railmarket.com/news/rolling-stock/26042-alstom-s-first-coradia-max-unit-from-the-polish-chorzow/> [20.02.2025].
32. Raport Kolejowy, <https://raportkolejowy.pl/poczdam-z-autonomiczna-zajezdnia-tramwajowa/> [24.02.2025].
33. Siemens, <https://www.mobility.siemens.com/pl/pl/o-firmie/newsroom/siemens-mobility-rozwija-projekt-autonomicznego-tramwaju.html/> [24.02.2025].
34. Spider'sweb, <https://spidersweb.pl/2024/04/latajace-taksowki-juz-tu-sa-chiny-uruchamiaja-masowa-produkcje.html/> [26.02.2025].
35. Špitálov Z. (2023). *Vehicle-to-everything communication*. In: Communications - Scientific Letters of the University of Žilina, 25(1), s. C24-C35.
36. Szpilko D., Budna K., Drmeyer H., Remiszewska A. (2023). *Sustainable and smart mobility – research directions. A systematic literature review*. Economics and Environment, 86(3), s. 31-61.
37. Szpilko D., Fernando X., Nica E., Budna K., Rzepka A., Lăzăroiu G. (2024). *Energy in Smart Cities: Technological Trends and Prospects*, Energies, 17(24).
38. Szpilko D., Naharro F.J., Lăzăroiu G., Nica E., Gallegos, A.d.I.T (2023). *Artificial Intelligence in the Smart City – A Literature Review*. Engineering Management in Production and Services, 15(4), s. 53-75.
39. ŚLĄZAG, <https://www.slazag.pl/pierwszy-pociag-coradia-max-wyjechal-z-chorzowskiego-alstomu-na-testy-do-niemiec/> [20.02.2025].

40. Transport Publiczny, <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/la-paz-konczy-siec-miejskich-kolei-gondolowych-w-sumie-33-km-linii-61479.html> [17.02.2025].
41. TVN24, <https://tvn24.pl/biznes/moto/cybercab-nowy-pojazd-autonomiczny-od-tesla-st8130106> [29.03.2025].
42. TVN24, <https://tvn24.pl/biznes/ze-swiata/robotaxi-czyli-autonomiczne-taksowki-powodem-powszechnego-niepokoju-w-chinach-st8009556> [29.03.2025].
43. Zade N., Gawande M., Verma P., Gundewar S. (2024). *The Future of Driving: A Review on the Combination of Artificial Intelligence and Autonomous Vehicles*. 2024 2nd DMIHER International Conference on Artificial Intelligence in Healthcare, Education and Industry (IDICAIEI), s. 1-6.
44. Waymo, <https://waymo.com/> [29.03.2025].
45. WorldBank, <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1> [29.03.2025].
46. Wyborcza, <https://wyborcza.pl/7,177851,31256180,nadlatuja-elektryczne-taksowki-powietrzne-evtol-moga-zaczac.html> [29.03.2025].

Autonomous transport of the future – risk assessment of flying taxis

Abstract

The development of autonomous technologies in urban transport is one of the key challenges of modern mobility. With growing urban populations and problems of congestion and air pollution, innovative transport solutions are becoming an essential part of the future of urban planning. One such solution is autonomous flying taxis, which could revolutionise mobility in urban areas. The aim of this article is to identify future autonomous solutions and to make a risk assessment of one of them - flying taxis. The characteristics of the solutions have been prepared on the basis of a literature and website review. The study was conducted using the Risk Score method, which allows a qualitative risk assessment and identification of key areas for further action. The results obtained can provide valuable guidance to companies, helping to identify areas for improvement and optimisation in flying taxi technology.

Key words

autonomous vehicles, flying taxis, risk